

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh systému mazání pro skipové zavážení vysokých pecí
The Draft of Lubrication System for Skip Loading of Blast Furnaces

Student:

Hubert Folta

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Hubert Folta**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování**
Téma: **Návrh systému mazání pro skipové zavážení vysokých pecí**
The Draft of Lubrication System for Skip Loading of Blast Furnaces

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele proveďte posouzení stavu mazání zařízení pro skipové zavážení vysokých pecí v podmínkách vysokopečního závodu.

V rámci zadání zpracujte:

1. Literární rešerši k problematice mazání ocelových lan v podmínkách vysokopečního závodu.
2. Sběr a vyhodnocení informací o současném stavu v oblasti mazání zařízení pro skipové zavážení vybrané vysoké pece s ohledem na zkušenosti, problémy a rizika plynoucí z reálného provozu.
3. Návrh možných technických řešení a způsobů mazání pro eliminaci poruchovosti sledovaných zařízení dle dostupných záznamů o poruchách, údržbě a četnosti výměny dílů.
4. Výběr vhodné varianty technického řešení pro skipové zavážení vysoké pece, včetně doporučení k provozu mazacího systému.

Další pokyny a informace poskytne zadávající firma a konzultant bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, František, ZIEGLER, Jiří a MARASOVÁ, Daniela. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s.
ISBN 80-7078-883-6.

ŠAFR, Emil. *Tribotechnika*. SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984. 300 s. 04-243-84.

SZCZEREK, Marian a WISNIEWSKI, Marek. *Tribologie, Tribotechnika*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Radom, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7.

SHIGLEY, Joseph Edward et al. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. v Brně: VUTUM, 2010. xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic; sv. 3. ISBN 978-80-214-2629-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě14.5.2015.....

.....Folta Hubert.....

Hubert Folta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití – mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 14. 5. 2015

Falta Hubert

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Hubert Falt

Adresa trvalého pobytu autora práce: Alej míru 804, Jablunkov

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce. Ing. Ladislavu Hrabcovi, Ph.D. za odborné rady a čas věnovaný konzultacím. Dále děkuji konzultantovi p. Marianu Pietrzykovi za cenné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FOLTA, H. *Návrh systému mazání pro skipové zavážení vysokých pecí: bakalářská práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 51 s. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

V první části bakalářské práce jsou vysvětleny základní pojmy týkající se konstrukce a údržby ocelových lan v provozu vysokých pecí. V druhé, experimentální části, je proveden výpočet předpokládané životnosti ocelového lana a výpočet množství pracovních cyklů skipového vrátku. Výsledky výpočtů jsou porovnány a je zjištěno, že v reálných podmínkách provozu lano dosahuje delší životnosti, než bylo stanoveno výpočtem. Jelikož je cílem této práce prodloužit životnost ocelového lana, je provedena kontrola způsobu údržby ocelového lana a pro zjištěné nedostatky jsou navržena řešení, která vedou k prodloužení životnosti ocelového lana.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

FOLTA, H. *The Draft of Lubrication System for Skip Loading of Blast Furnaces: Bachelor Thesis* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015 51 p. Thesis head: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

In the first part of the bachelor thesis, the main terms related to construction and maintenance of steel wire ropes used for loading of blast furnace are explained. In the second, experimental part, expected operating life of the steel wire rope and number of working cycles of the skip winch are calculated. Calculated results are compared and it is evaluated, that the operating life of the steel wire rope in real conditions is longer than the operating life calculated. Because the purpose of this thesis is to extend the operating life of the steel wire rope, methods of steel wire rope maintenance are checked and for detected deficiencies, solutions leading to extension of the steel wire rope are suggested.

Seznam použitých značek

a	Provozní zrychlení při rozjezdu skipového vozíku	$[m.s^{-2}]$
b	Bezpečnost lana	$[.]$
D_b	Průměr bubnu	$[m]$
D_l	Průměr lanovnice	$[m]$
E	Modul pružnosti ocelového lana	$[N.m^{-2}]$
F_{maxb}	Maximální celkové zatížení ocelového lana u bubnu	$[N]$
F_{maxl}	Maximální celkové zatížení ocelového lana u lanovnice	$[N]$
$F_{st\ max}$	Maximální statické zatížení lana	$[N]$
F_{stb}	Statické zatížení ocelového lana u bubnu	$[N]$
F_{stl}	Statické zatížení ocelového lana u lanovnice	$[N]$
g	Gravitační zrychlení	$[m.s^{-2}]$
k_1	Počet kychet za hodinu	$[kychet / h]$
K_{24}	Počet kychet za 24 hodin	$[kychet / 24h]$
m_c	Celková hmotnost všech zatížení jednoho ocelového lana ze strany skipové dráhy	$[kg]$
m_l	Hmotnost lana mezi bubnem a lanovnicí	$[kg]$
m_{ls}	Hmotnost 2 lan mezi vozíkem a lanovnicí ze strany skipové dráhy	$[kg]$
m_v	Hmotnost skipového vozíku	$[kg]$
m_{vs}	Hmotnost rudné vsázky	$[kg]$
N_m	Jmenovitá nosnost lana	$[N]$
S	Nosný průřez ocelového lana	$[m^2]$
S_{24}	Počet zavezených skipů za 24 h	$[skipů / 24h]$
S_{365}	Počet zavezených skipů za rok 1 skipovým vozíkem	$[skipů / 365dnů]$
s_k	Počet skipů potřebných k zavezení jedné kychty	$[.]$

S_{kov}	Kovový průřez ocelového lana	[m ²]
α	Úhel naklonění skipové dráhy	[°]
β	Úhel naklonění ocelového lana mezi bubnem a lanovnicí	[°]
ΔF_{max}	Maximální amplituda od maximální statické síly	[N]
δ_{pd}	Průměr povrchových drátů ocelového lana	[m]
σ_{mb}	Měrné zatížení ocelového lana u bubnu	[MPa]
σ_{ml}	Měrné zatížení ocelového lana u lanovnice	[MPa]

Obsah

	strana
Seznam použitých značek	8
1. Úvod.....	12
2. Historie a vývoj ocelových lan.....	13
3. Konstrukce ocelových lan a pramenů	16
3.1 Základní pojmy	16
3.2 Konstrukce pramenů	16
3.3 Konstrukce ocelových lan.....	18
3.3.1 Různé druhy konstrukcí.....	19
3.3.2 Značení ocelových lan dle ČSN EN 12385-2.....	21
3.4 Základní materiály na výrobu lan	23
3.4.1 Ocelové dráty.....	23
3.4.2 Textilní vložky a ocelové duše	24
3.4.3 Mazivo	24
4. Technická rizika při provozu ocelových lan	26
4.1 Bezpečnost ocelového lana.....	26
4.2 Opotřebení a koroze ocelového lana.....	28
4.2.1 Opotřebení	28
4.2.2 Koroze	29
4.3 Dynamické namáhání ocelového lana	30
5. Experimentální část.....	32
5.1 Popis zařízení skipového zavážení	32
5.2 Výpočet životnosti ocelového lana	36
5.2.1 Statické zatížení ocelového lana.....	37
5.2.2 Dynamické zatížení ocelového lana	38
5.2.3 Ohybové zatížení	39

5.2.4	Měrné zatížení ocelového lana	40
5.2.5	Počet pracovních cyklů zavážení za rok.....	42
5.3	Zhodnocení současného stavu	43
5.3.1	Mazání ocelových lan.....	43
5.3.2	Lanovnice	46
6.	Návrh opatření k zvýšení životnosti ocelového lana.....	47
7.	Závěr	49
	Literatura	50

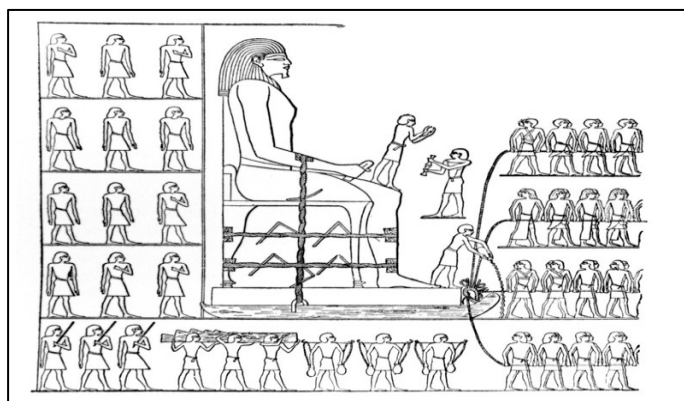
1. Úvod

Účelem této bakalářské práce je ověřit možnost prodloužení životnosti ocelových lan skipového zavážení vysoké pece č. 6 v Třineckých železárnách, a.s. Na ocelová lana působí během provozu mnoho negativních jevů, mezi které patří opotřebení, dynamické namáhání a v neposlední řadě koroze, která bývá až v 80 % případů příčinou přetržení lana. Nebezpečná je zejména koroze vnitřních drátů, kterou není při vizuálních prohlídkách možné zjistit. Postupným zmenšováním nosného průřezu lana dochází k jeho přetížení. Vznikají tak zlomy drátů, které způsobují až konečné celkové přetržení lana. Přetržení lana patří k haváriím s velmi nepříjemnými následky, proto je důležité udržovat lano v co nejlepším technickém stavu během jeho provozního života.

V rámci mé bakalářské práce uvedu nejdůležitější informace o konstrukci ocelových lan a pramenů, základních materiálech na výrobu ocelových lan a technických rizicích, která vznikají při provozu ocelových lan. V experimentální části práce provedu výpočet předpokládané životnosti ocelových lan. Výpočet provedu pro dvě místa na laně, kde předpokládám největší zatížení. Výpočtem zatěžujících sil statických, dynamických a ohybových získám hodnoty celkových zatížení ocelového lana. Následně vypočítám měrné zatížení ocelového lana. Vypočítané hodnoty porovná s křivkou, která znázorňuje průběh závislosti měrného zatížení ocelového lana na počtu únavových cyklů, čímž získám orientační životnost ocelového lana. Vypočtenou orientační životnost ocelového lana porovná s průměrnou životností, které lano dosahuje během provozu, provedu kontrolu dodržování zásad metodiky údržby ocelových lan a navrhnou opatření vedoucí k prodloužení životnosti ocelových lan.

2. Historie a vývoj ocelových lan

Výhody lan jsou lidstvu známy již od doby kamenné. Historie ocelového lana se začala psát v období 12 – 9 tisíc let př. n. l. Byly nalezeny malby znázorňující předchůdce ocelových lan, které byly vyráběny z kůže, vlasů a popínavých rostlin. Výroba lan se v průběhu let zdokonalovala. Lana se vyráběla pevnější a odolnější. V době bronzové se začaly vyrábět lana z bronzových drátů. Při vykopávkách v Pompejích, které byly roku 79 n. l. zničeny výbuchem sopky Vesuv, bylo nalezeno lano délky 4,5 metru. V prameni lana bylo 19 bronzových drátů s průměrem 0,7 mm. Za zmínku stojí také starodávný Egypt. Egypťané používali lana na výrobu rybářských sítí, zvedání a přesouvání těžkých břemen (obr. 1).



Obr. 1 – Náklad tažený pomocí lan [6]

Za první reálnou zmínku o drátěném laně je třeba považovat výkresy přibližně z roku 1500, které se zachovaly po známém italském umělci a vynálezci Leonardu da Vinci. Drátěná lana byla navržena k použití v některých stavebních strojích. [1] Díky Leonardovu drátěnému lanu byl postaven obelisk na Svatopetrském náměstí ve Vatikánu. Pod vedením Domenica Fontany a za pomoci 900 mužů a 75 koní byl obelisk roku 1586 postaven.

Koncem 18. století s rozvojem těžebního průmyslu vzniká potřeba pevnějších a odolnějších lan. V těžebním průmyslu se používají lana konopná, která mají ve vlhkém prostředí krátkou životnost, anebo řetězy, které mají sice delší životnost a větší nosnost, ale často se trhají bez varování. Kolem roku 1830 se Wilhelm Albert pokouší spojit výhody konopného lana a řetězu. Uvědomoval si, že v konopném laně je síla působící na lano rovnoměrně rozdělena na jednotlivá vlákna. Roku 1834 nechal ručně vyrobit lano, které bylo dlouhé asi 30÷35 metrů. První lano se skládalo ze čtyř drátů v každém ze tří pramenů.

Lano bylo stejnosměrného vinutí a dosáhlo průměru 18 mm. První Albertovo lano mělo šestkrát vyšší nosnost než konopné lano stejného průměru.

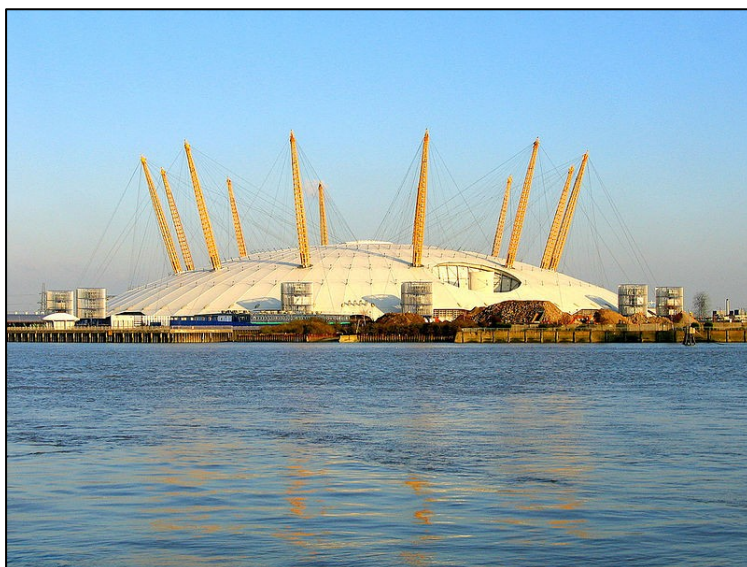
Aby se výroba „Albertových“ lan mohla rozšířit po celé Evropě a později také v Severní Americe, musel je podrobit potřebným testům. A tak připravil cestu ke vzniku čtyř a šesti pramenných lan díky realizaci únavových zkoušek, které se dnes považují za první založené na vědeckém základu.

Po úspěšných zkouškách roku 1836 se lana začala používat přímo v provozu na slovenské šachtě Kristián v Banské Štiavnici. V roce 1837 byla v Banské Štiavnici zřízena první továrna na výrobu ocelových lan. Lana se zpočátku vyráběla ručně. Průlom ve výrobě ocelových lan nastal v roce 1840, kdy vídeňský mechanik Wurm vynalezl stroj na výrobu pramenů. Wurmův vynález znamenal průlom v odvětví ocelových lan. Výroba se stala efektivnější a rychlejší. V následujících letech vývoj ocelových lan pokračoval poměrně rychle. Pokrok ve vývoji ocelových lan se nesl ve znamení zlepšení strojního vybavení na výrobu lan, zlepšení materiálových vlastností a zlepšení konstrukce lan.

Poté, co se ocelová lana stala neodmyslitelnými prvky zdvihacích a dopravních zařízení, začala pronikat do dalších odvětví průmyslu. Průlomovým okamžikem pro stavitelství bylo použití vysokopevnostních ocelových lan na stavbu dlouhých visutých mostů. Angličanu Jamesi Horsfallovi byl udělen patent na tepelné zpracování drátu, dnes nazývané patentování. Tato lana byla prvně použita při stavbě visutého mostu Brooklyn Bridge roku 1882 (obr. 2). Dnes se lana běžně používají v mnoha odvětvích průmyslu, např. pro zakotvení vysokých anténních stožárů, v betonových předepjatých konstrukcích a v neposlední řadě na konstrukce membránových střech (obr. 3).



Obr. 2 – Brooklynský most [5]

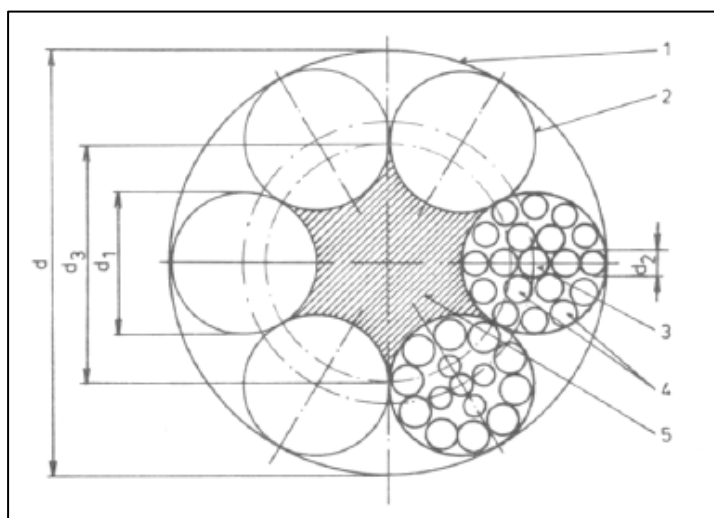


Obr. 3 – Millennium Dome v Greenwich [7]

3. Konstrukce ocelových lan a pramenů

3.1 Základní pojmy

Ocelové lano je strojní prvek. Vyrábí se z patentovaného ocelového drátu vyšší pevnosti, která zaručuje velkou nosnost lana při jeho malém průměru, poměrně malé hmotnosti a dostatečné ohebnosti. Řez ocelovým lanem a vysvětlení základních pojmů znázorňuje obr. 4.

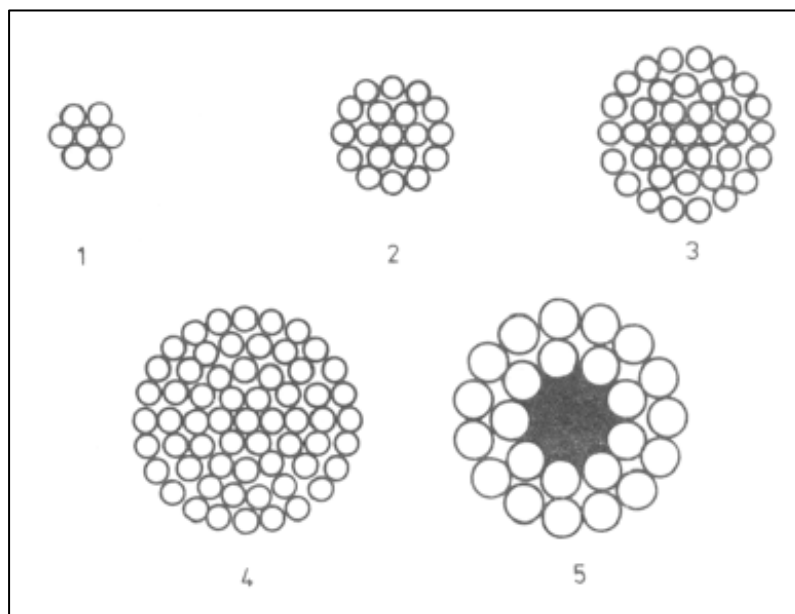


Obr. 4 – Řez ocelovým lanem [1]

Legenda: 1-průměr d ocelového lana, 2-průměr d_1 pramene, 3- duše pramene, 4- dráty pramene průměru d_2 , 5-textilní vložka lana průměru d_3

3.2 Konstrukce pramenů

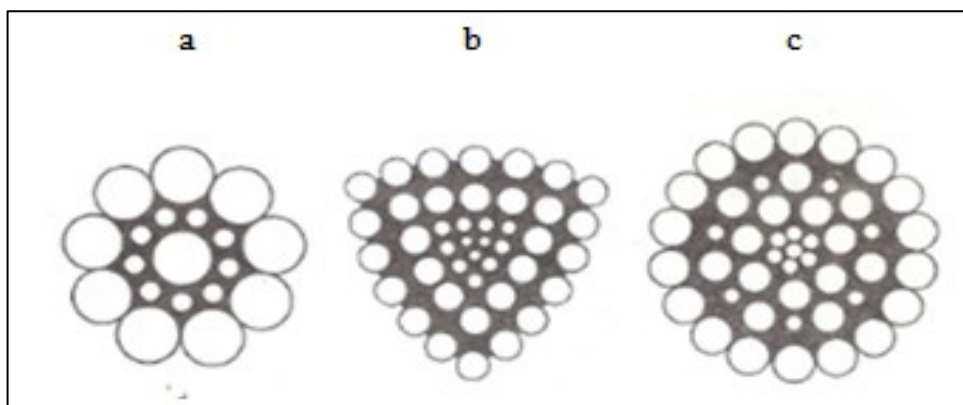
Základním prvkem pramene je ocelový drát. Kvalita drátu ovlivňuje vlastnosti a životnost ocelového lana. Pramen je tvořen několika holými nebo pozinkovanými dráty, které jsou vinuty do šroubovice tak, aby se dotýkaly a vytvářely stále týž pramen. Dráty se vinou do pramene okolo drátěné duše nebo textilní vložky v jedné nebo několika vrstvách (obr. 5).



Obr. 5 – Druhy pramenů [2]

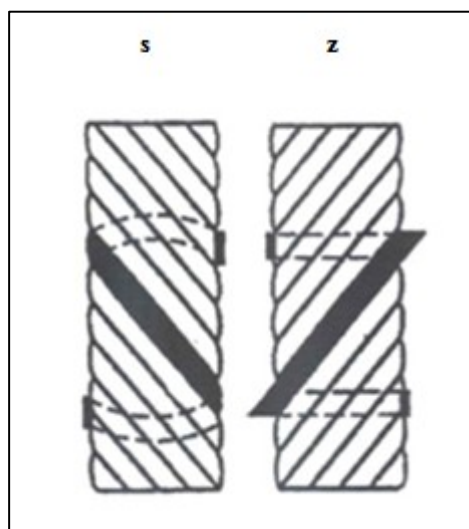
Legenda: 1 - jednovrstvý pramen, 2 - dvouvrstvý pramen, 3 - třívrstvý pramen, 4 - čtyřvrstvý pramen, 5 - dvouvrstvý pramen s textilní vložkou

Jestliže má drát tvořící duši menší průměr než ostatní dráty pramene, nazýváme jej jádrovým drátem a jeho nosnost se do celkové nosnosti lana nezapočítává. Pokud má drát stejný nebo větší průměr než ostatní dráty a je vyroben ze stejně pevného materiálu, jeho nosnost se do nosnosti pramene započítává. Jednotlivé prameny se vyrábí s různou geometrií průřezu (obr. 6). Konstrukce pramene je určena číselným vzorcem, který udává počet drátů v jednotlivých vrstvách pramene - např. konstrukce 1+6, 1+6+12. Pramen vinutý doprava má pramen vinutý do šroubovice, která při pohledu na svislý pramen stoupá zleva doprava. Levovinutý stoupá zprava doleva. Směr vinutí drátu v prameni označujeme malými písmeny: s (levovinný pramen) a z (pravovinný pramen) - (obr. 7).



Obr. 6 – Konstrukce pramenů [1]

a – 1+9+9, b – 3+9+12+18, c – 1+6+7+(7+7)+18

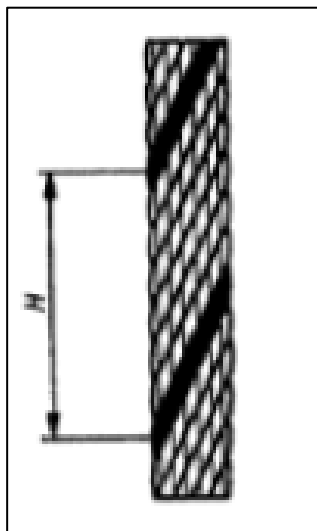


Obr. 7 – Směry vinutí pramenů. [8]

3.3 Konstrukce ocelových lan

Konstrukce lana je dána vzájemným uspořádáním drátů v prameni i pramenů samotných. [10] Různé konstrukce jsou vhodné pro různé typy provozu a zatížení. Lano tvoří prameny, které jsou vinuty do šroubovice okolo textilní vložky nebo drátěné duše. Výška vinutí lana (H) je vzdálenost rovnoběžná s podélnou osou lana, ve které vnější prameny vytváří jednu spirálu kolem osy lana (obr. 8). Úlohou vložky ocelového lana je vytvářet pevnou a pružnou podložku pro prameny lana, které se při výrobě stáčí kolem

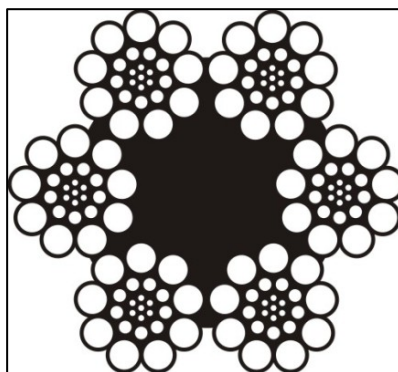
vložky. Vložka zabraňuje radiálnímu posouvání, bočním tlakům a současně vyplňuje prostor mezi prameny. [3]



Obr. 8 – Výška vinutí lana [4]

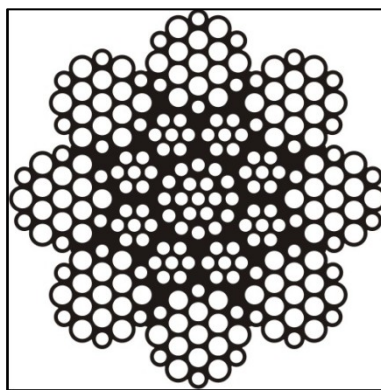
3.3.1 Různé druhy konstrukcí

Lana typu **SEAL** (obr. 9) jsou vinuta souběžným způsobem. Lana dobře snášejí rázové zatížení, mají však menší ohebnost. Ohebnost se vylepšuje volbou menších průměrů drátu v první a druhé řadě. Lana konstrukce SEAL se používají pro těžké přepravní podmínky (lanovky, rypadla, jeřáby...).



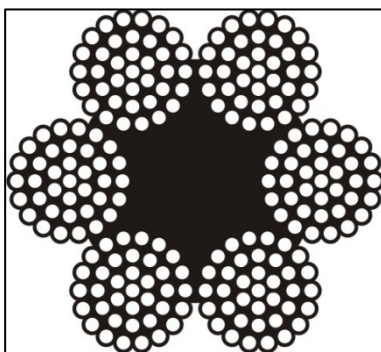
Obr. 9 – Konstrukce SEAL s textilní vložkou [10]

Lana typu **Warrington** (obr. 10) jsou vinuta souběžným způsobem. Pramen je tvořen kombinací slabších a silnějších drátů. Jádru lana ze slabších drátů zajišťuje dostatečnou ohebnost za použití malého počtu drátů. Používají se šesti a osmiramenná lana. Využívají se v dolech, na jeřábech a jako výtahová lana.



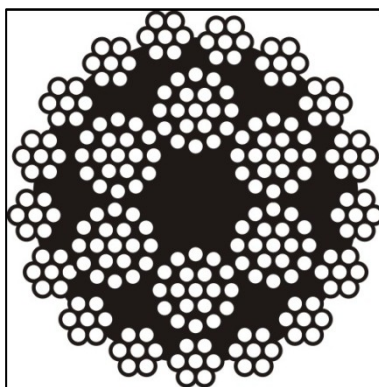
Obr. 10 – Konstrukce WARRINGTON s drátěnou duší [10]

Lana typu **Standart** (obr. 11) jsou vinutá klasickým způsobem. Úhel vinutí každé vrstvy je stejný, dráty jednotlivých vrstev se překrývají. Jsou poměrně levná, přitom dobře odolná proti otěru. Nevýhodou lan typu Standart je malé využití průřezu lana cca 45 %. Lana jsou náchylná na tvorbu vrubů v drátech.



Obr. 11 – Konstrukce STANDART s textilní vložkou [10]

Lana typu **Hercules** (obr. 12) jsou lana vinutá klasickým způsobem. Mají řádově stovky drátů malých průměrů. Nekroutivá lana typu Hekules jsou dobře ohebná, používají se na jeřábech, kde je břemeno zavěšeno na jednom průřezu lana a není vedeno.



Obr. 12 – Konstrukce HERCULES s textilní vložkou [10]

3.3.2 Značení ocelových lan dle ČSN EN 12385-2

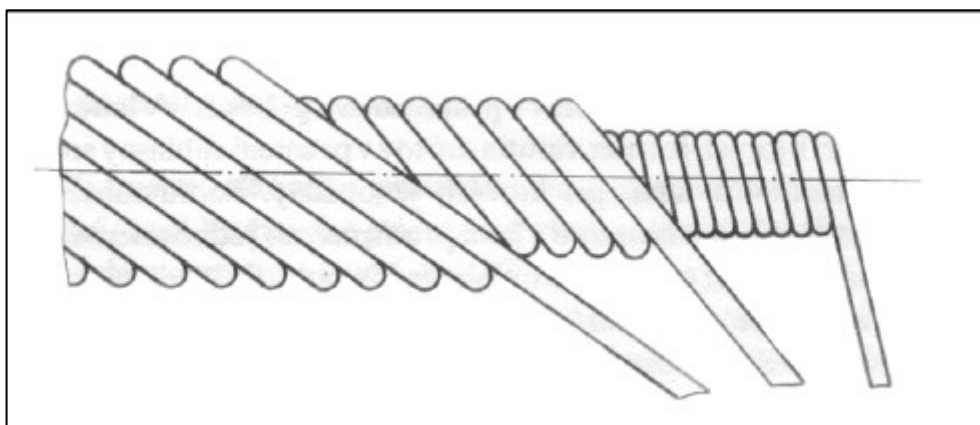
Tato část evropské normy definuje termíny, specifikuje označování a klasifikaci (třídění) ocelových drátěných lan a je používána ve spojení se všemi dalšími částmi této normy [8]. Podle ČSN EN 12385-2 z roku 2002 se označují lana podle vzoru - viz obr. 13.

	22	6×36WS-IWRC	1770	B	sZ
	32	18×19S-WSC	1960	U	sZ
	95	1×127	1570	B	Z
rozměr (rozměry)					
konstrukce lana					
konstrukce duše					
třída pevnosti lana, v případě potřeby					
povrchová úprava drátu					
typ a směr vinutí					

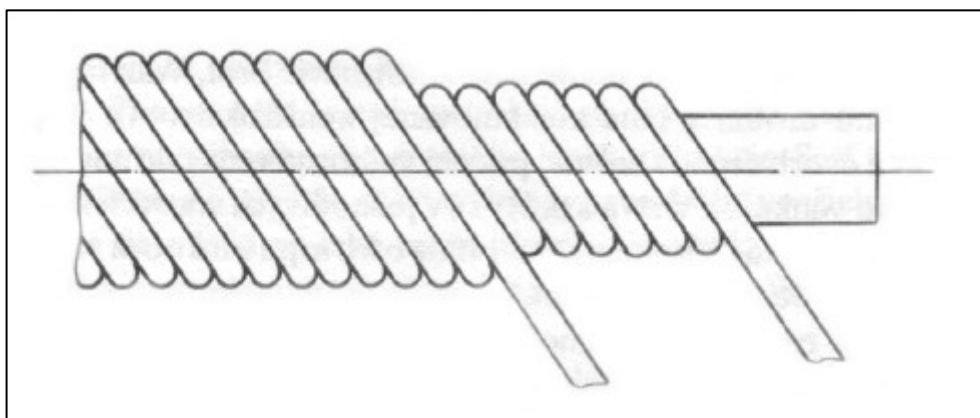
Obr. 13 – Značení ocelových lan dle ČSN [4]

Pro vysvětlení způsobu značení ocelových lan jsem si vybral typ lana, pro které budu v průběhu práce navrhnout vhodnou metodiku mazání. Pro skipové zavážení se používá ocelové lano **33 8 × K26WS - IWRC 1770/1570 U zZ**.

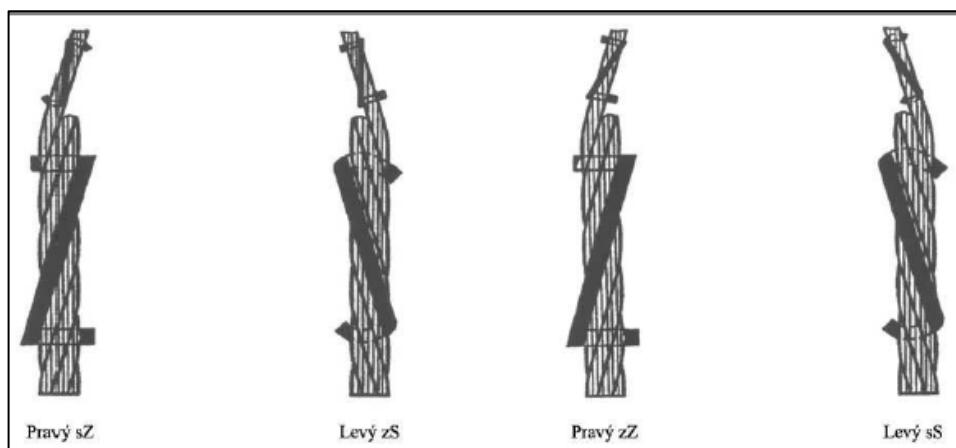
Jedná se o lano jmenovitého průměru **33** mm tvořené **8** prameny. Symbol **K** znamená, že lano je dodatečně ztvárněné. Pramen lana má **26** drátů. Symbol **WS** vyjadřuje, že konstrukce lana má kombinované souběžné vinutí. Kombinované vinutí drátu v pramenech vzniká kombinací pramenu klasického a souběžného vinutí. Dráty vinuté klasickým způsobem jsou vinuty do pramenu s různou výškou vinutí v jednotlivých vrstvách, přičemž v narovnaném stavu mají všechny stejnou délku (obr. 14). Dráty vinuté souběžným způsobem jsou v jednotlivých vrstvách vinuty do pramenu se stejnou výškou vinutí, přičemž narovnané mají dráty různou délku (obr. 15). Lano má duši z ocelového lana **IWRC**. Třída pevnosti lana **1770/1570**. Povrchová úprava označená symbolem **U** znamená, že lana jsou bez povlaku nebo lesklá. Lano má pravé stejnosměrné vinutí - viz obr 16. Vinutí drátu ve vnějších pramenech je ve stejném směru jako vnější prameny v laně. Protisměrné vinutí má lano, ve kterém směr vinutí drátu ve vnějších pramenech je v opačném směru k vinutí vnějších pramenů v laně.



Obr. 14 – Klasický způsob vinutí [4]



Obr. 15 – Souběžný způsob vinutí [4]



Obr. 16 – Směry vinutí lan [8]

3.4 Základní materiály na výrobu lan

3.4.1 Ocelové dráty

Nosnou část lana tvoří ocelové dráty. Na výrobu ocelových lan se ve většině případů používá patentovaný, tažený holý nebo pozinkovaný drát.

Výchozím materiálem pro drátovnu je válcovaný drát průměru 5 až 12 mm, vyrobený z uhlíkové, nelegované oceli.

Patentování je postup užívaný při výrobě ocelových drátů tažením. Ocel se při tažení průvlakem zpevňuje, tvrdne. U oceli s malým obsahem uhlíku se pro odstranění zpevnění mezi jednotlivé tahy zařazuje normalizační nebo rekrytalizační žíhání. U pevnějších ocelí s vyšším obsahem uhlíku vyžíhání nepostačuje. Proto se volí postup obdobný izotermickému kalení na bainit, prováděný kontinuálně při teplotách lázně asi 500 °C, spojený s opakovaným tažením. Takto zpracované oceli se nazývají patentované. Patentované dráty mají vysokou pevnost ($\sigma_{Pt} = 1500$ až 3000 MPa) při dobré houževnatosti. Používají se na struny, pružiny a lana. [9]

Kromě uhlíkové se pro výrobu lan používají také nerezové oceli, mající až o 15 % menší pevnost a odolnost proti abrazivnímu opotřebení než uhlíkové oceli. Výhodou nerezových lan je velká odolnost proti korozi.

Jako jeden z nejmodernějších materiálů se ve výrobě ocelových lan objevil kevlar. V rozborech, kde byla voda prokázána jako velmi korozivní činitel u ponořených částí

ocelových lan, poskytla kevlarová lana uspokojivé výsledky. Vlastnosti kevlaru jsou odlišné od oceli, a to v modulu pružnosti, odolnosti proti abrazi a odporu v otlacení. Tato lana jsou velmi málo odolná proti otěru, tedy se musí hranit povlakem, obvykle polyetylenovým materiálem. Kevlarové lano se natáhne přibližně dvakrát tolik, kolik plně zatížená ocel. Z toho vyplývá, že poskytuje vyšší stupeň bezpečnosti a v nejbližší době by se mohlo více rozšířit. [9]

3.4.2 Textilní vložky a ocelové duše

Duše přispívá velmi významně k celkovým vlastnostem lana. Na výrobu textilních vložek se používá sisal nebo příze z tvrdých a měkkých vláken. Do lan malých průměrů ($< 3,55$ mm) jsou tyto příze nevhodné, proto se do takových lan používají bavlněné nebo kordové příze. Vlákno inklinuje k tlumení chvění, a toho se využívá především u lan výtahových. Textilní vložka je ohebnější než drátěná duše, ale zvyšuje napětí. Výhodou drátěné duše je její větší pevnost v tahu a odolnost proti otlacení. Jediná nevýhoda drátěné duše je snížená ohebnost. [9]

3.4.3 Mazivo

Vliv prostředí, ve kterém ocelové lano pracuje, se projevuje různým způsobem, často vzniká koroze jednotlivých drátů lana. Aby se zabránilo vlivu prostředí a korozních účinků a následujících nežádoucích jevů, je potřebné, aby měla lana spolehlivou ochranu, kterou zabezpečuje dobré mazání povrchu lana a její vložky. [3]

Ocelové lano při své práci prochází soustavou kladek, na kterých se ohýbá. Dochází ke tření pramenů a drátů mezi sebou. V místě dotyku vznikají tlaky. Při tomto vzájemném tření pramenů je nutné zabezpečit mazání. Správným mazáním minimalizujeme otěr jednotlivých drátů. [11] Mazivem napuštěná vložka lana je chráněna po celou dobu jeho životnosti. Je zjištěno, že není možné míchat různé druhy mazadel či olejů bez toho, aby to nemělo vliv na kvalitu obou druhů mazadel či olejů. V Evropě se k mazání ocelových duší používá Elaskon 20. Mazadlo se před aplikací zahřeje, tím se rozpustí a aplikuje se na ocelovou duši. Po ztuhnutí mazadla se duše může oplést ocelovými dráty. Nejnovějším mazadlem, které nahrazuje Elaskon 20, je Elaskon SK-U. Pro lana pracující v mokřím nebo vlhkém prostředí je nutné použít mazadlo biologicky odbouratelné. Pro vlhké a mokré prostředí bylo vyvinuto speciální mazadlo Elaskon 30 Bio. Při užívání lan během

provozu zabezpečuje vnitřní mazivo primárně mazání ocelových duší a vložek, aby nedošlo ke zkorodování vložky dříve, než ke zkorodování a opotřebení vnějších drátů. Koroze nebo poškození vložky se nezjistí běžnou vizuální prohlídkou lana. Pro kontrolu vnitřní části lana se používá defektoskopická kontrola, která je nákladná. U pohyblivých lan je úlohou mazání zamezit tření mezi jednotlivými dráty. Mazivo musí být správně aplikováno na celý povrch lana. Vrstva maziva se aplikuje na suché očištěné lano, pokud možno za teplého slunečného počasí. [12] Mazivo musí na laně před použitím zaschnout. Správné mazání výrazně prodlužuje životnost lana.

4. Technická rizika při provozu ocelových lan

Podrobný rozbor technického rizika ocelových lan používaných na různých druzích zdvihacích zařízení ukázal, že je důležité brát v úvahu zejména tři činitele, které nejvíce ovlivňují spolehlivost, a tím i riziko provozu ocelových lan. [1] Tyto činitele jsou následující:

- skutečná nosnost ocelového lana,
- opotřebení a koroze ocelového lana,
- dynamické namáhání ocelového lana.

4.1 Bezpečnost ocelového lana

Bezpečnost ocelového lana je dána poměrem mezi započitatelnou nosností lana a jeho maximálním statickým zatížením. U lan, která nejsou podrobena předepsaným zkouškám, bereme v úvahu jmenovitou nosnost lana. Jmenovitá nosnost lana N_m se stanoví jako součet jmenovitých nosností všech nosných drátů v laně.

$$b = \frac{N_m}{F_{st \max}}$$

Kde:

b [-] – bezpečnost lana

N_m [N] – jmenovitá nosnost lana.

$F_{st \max}$ [N] – maximální statické zatížení lana.

Takto vypočítaná bezpečnost je bezpečností teoretickou, její velikost je dána normami a předpisy. Velikost požadované bezpečnosti je závislá na účelu použití i druhu dopravního zařízení. Požadovaná počáteční bezpečnost pro různá ocelová lana je uvedena v tabulce. Je nutné mít na paměti, že na bezpečnost ocelového lana má negativní vliv mnoho provozních činitelů, např. konstrukce lana, průměr kladek, mazání lan, vhodný tvar drážek, zatížení lana, koroze a mnoho dalších.

Tabulka 1 – Bezpečnost ocelových lan [8]

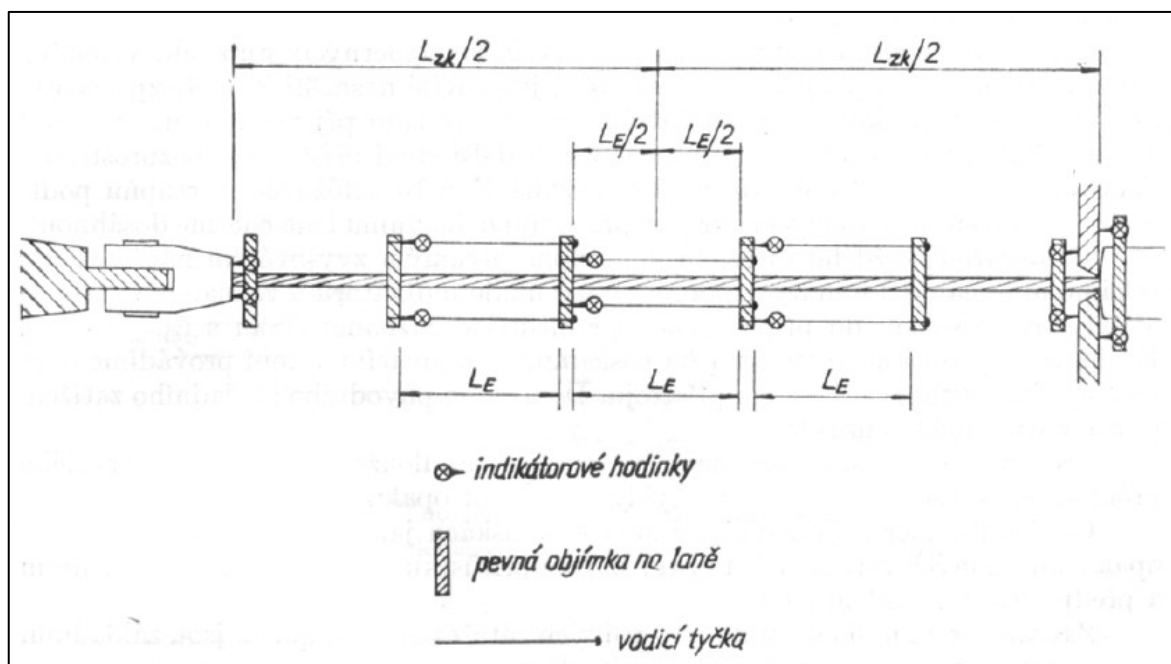
Druh ocelového lana – použití	Bezpečnost
Tažná lana	6÷9
Vyrovnávací lana	5÷7
Vodící a odrazová lana	5÷7
Jeřábová lana	3÷8,5
Výtahová lana	8÷16
Nosná lana lanovek	3,5÷4
Tažná lana lanovek	5÷6
Lana lyžařských vleků	4÷5

Poměrně vysoké hodnoty bezpečnosti zohledňují výše zmíněné činitele, které bezpečnost během provozu snižují různým podílem. Už při aplikaci lana v provozu je jeho bezpečnost nižší, natolik je ovlivněna velikostí skutečné nosnosti lana. Skutečná nosnost lana je menší než nosnost jmenovitá a zjišťuje se zkouškou vzorku lana na tah (obr. 17). Na lano osazené do čelisti trhacího stroje a natažené základní silou (20 až 50 kN) podle průměru lana, se připevní pevné objímky a vodící tyčky s indikátorovými hodinami pro měření prodloužení. Na středu zkušebního vzorku jsou umístěny ve stejné vzdálenosti další objímky zajišťující měření čistého protažení lana na stejných délkách LE (používá se 1000 mm). Zatěžování vzorku se provádí po určitých rovnoměrných stupních. Po dosažení přípustného maxima na posledním zatěžovacím stupni provádíme opět po stupních odlehčování. Po ukončení tahové zkoušky v navrženém postupu a rozsahu k získání charakteristik prodlužování lana následuje plynulé zatěžování lana až do přetržení. Poměr mezi skutečnou nosností N_s a jmenovitou nosností N_m je tzv. součinitel nosnosti k_s .

$$k_s = \frac{N_s}{N_m}$$

Na základě výsledku zkoušek vzorku lan různých konstrukcí je možné při praktickém řešení rizika provozu lan uvažovat s velikostí k_s v hranicích 0,70÷0,95 [1], což znamená, že

skutečná bezpečnost lana při začátku jeho provozu představuje jen 70÷95 % velikosti vypočítané bezpečnosti.



Obr. 17 – Tahová zkouška [1]

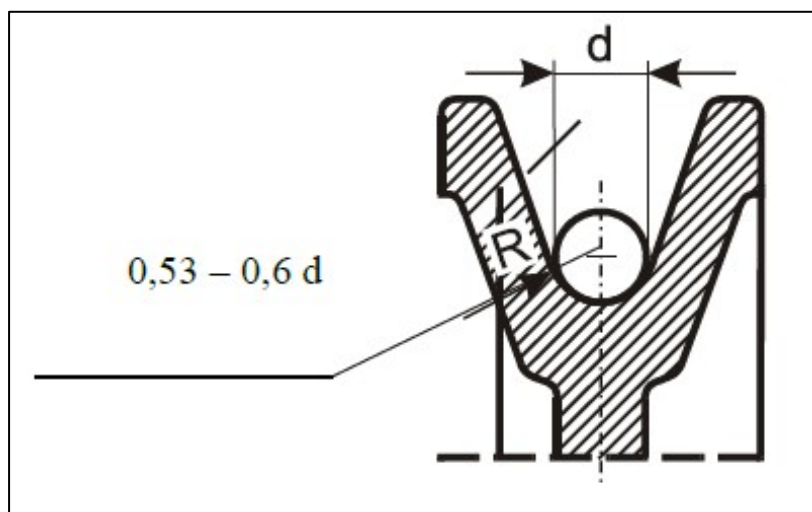
4.2 Opotřebení a koroze ocelového lana

Druhým rizikovým činitelem je opotřebení ocelového lana, které je definováno jako úbytek kovového průřezu. Tento úbytek vzniká mechanickým opotřebováním povrchových drátů lana, korozí a zlomy drátů. V našich podmínkách je dovolený maximální úbytek kovového průřezu ocelového lana, a tím i jeho nosnosti, 20 procent. Opotřebováním dochází tedy k dalšímu snížení vypočítané bezpečnosti.

4.2.1 Opotřebení

Kladky, kotouče, válce a bubny, na které se má lano navíjet nebo které lano vedou, se musí pravidelně kontrolovat. V případě opotřebení drážek je nutno je přebrousit, případně repasovat. Poloměr zakřivení drážky má být v rozmezí od 0,53 d do 0,6 d (obr. 18). Uvedené hodnoty platí pro běžné kladky ocelové, litinové, případně z jiného kovu.

Hodnoty neplatí, je-li drážka vyložena jiným materiálem (např. pryžovou směsí). Drážky s větším poloměrem zakřivení jsou nevhodné, protože s rostoucím poloměrem zakřivení dna drážky se zmenšuje styčná plocha lana a drážky, tj. zvyšuje se měrný tlak mezi lanem a drážkou (kladkou, lanovnicí, bubnem nebo kotoučem), a tím se snižuje životnost lana. Drážky s menším poloměrem zakřivení způsobují, že si nové lano postupně vypracovává drážku, a tím se neúměrně opotřebuje. [13] Tímto se výrazně snižuje životnost lana.



Obr. 18 – Poloměry zakřivení drážky lanovnice [1]

4.2.2 Koroze

Korozí rozumíme proces vzájemného působení povrchu kovového materiálu a jeho okolí, který vede k nenávratné přeměně materiálu kovového v nekovový materiál, v tak zvanou reakční zplodinu, znamenající nežádoucí a trvalou ztrátu kovové hmoty. Na průběh koroze má vliv řada faktorů, které označujeme jako činitele korozního procesu:

- Vliv materiálu – jedná se o chemické složení, strukturu, nehomogenitu, přítomná vnitřní pnutí, stupeň a druh znečištění a také jakost a čistotu povrchu.
- Vliv konstrukce – materiálová skladba (předmět je sestaven z jednoho či více materiálů), členitost povrchu (jednoduchý, hladký tvar nebo tvarově členitý tvar s obtížně přístupnými místy s možným ukládáním nečistot, vlhkosti atd.)
- Vliv prostředí – teplota a teplotní změny, přítomné látky korozi podporující (stimulátory), nebo potlačující (inhibitory).

Lano před účinky koroze chráníme antikorozní ochranou drátů a doplňujeme ji ochranou lana jako celku. Jedině uzavřené jednopramenné lano je, pokud jde o odolnost proti korozi, označováno za konstrukci výhodnou s ohledem na uzavření vnitřku lana kompaktní krycí vrstvou ze Z-drátů. Všechna ostatní lana jsou z hlediska koroze jako celek rovnocenná. Antikorozní ochrana lana se skládá:

- Z konzervování vnitřku lana – konzervování vnitřku lana má prvořadou důležitost. Provádí se při výrobě jednou provždy, nelze jej prakticky obnovit a jeho stav nelze bez porušení lana kontrolovat.
- Z povrchové úpravy lana – povrchová úprava lana má zajistit dokonalou ochranu konzervovaného jádra před vnějšími vlivy, aby se zabránilo vzniku koroze. Při volbě lana je nutné mít na paměti možnost vzniku galvanických dvojic. Za takovou dvojici můžeme považovat lana se zinkovanými povlaky a nezinkované oceli. V případě vzniku galvanické koroze dochází k rychlým úbytkům zinkovaného povlaku drátů.

4.3 Dynamické namáhání ocelového lana

Z praktických měření vyplývá, že za nejvážnější rizikový činitel během provozu ocelového lana lze považovat jeho dynamické namáhání. [1] Příčiny vzniku dynamického namáhání jsou různé, vhodnou porovnávací veličinou jeho hodnocení je součinitel dynamického namáhání k_d , který je dán vztahem:

$$k_d = \frac{F_{st\ max} + \Delta F_{max}}{F_{st\ max}}$$

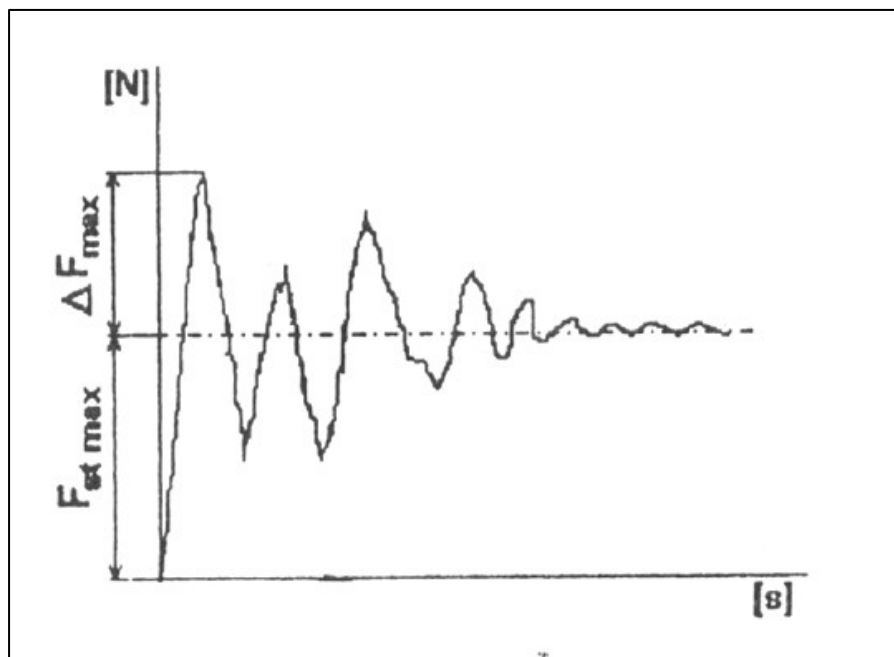
kde: $F_{st\ max}$ [N] – maximální statická síla působící na ocelové lano,

ΔF_{max} [N] – maximální amplituda od maximální statické síly,

k_d [.] – součinitel dynamického namáhání.

Hodnoty sil potřebných k výpočtu součinitele dynamického namáhání lze získat výpočtem nebo měřicím přístrojem (obr. 19). Velikost k_d je závislá na režimu pohybu

břemena zavěšeného na ocelovém laně. Na různých druzích zdvihacích zařízení byla zjištěna velikost součinitele dynamického namáhání v rozmezí $1,22 \div 3,86$.



Obr. 19 – Záznam průběhu dynamického namáhání [4]

5. Experimentální část

5.1 Popis zařízení skipového zavážení

Vsázkové materiály jsou do vysoké pece zaváženy dvěma skipovými vozíky, které jsou taženy vrátkem (obr. 20). Skipový vrátek je určen k zavážení vsázkových surovin z prostoru skipové jámy na sazebnu vysoké pece. Vrátek je dvoučinný stroj pro dvoučinnou dopravu na šikmé skipové dráze. Skipová dráha má délku 71 m a sklon $58^{\circ}6'$. K pohonu vrátku slouží dva elektromotory SHK 20 A. Při běžném provozu je v záběru pouze jeden elektromotor a druhý slouží jako náhradní. Motor je spojen s převodovkou pružnou čepovou spojkou s brzdovým kotoučem o průměru 700 mm. Vrátek je vybaven dvěma čelistovými brzdami, které pracují vždy současně. Tyto brzdy rovněž slouží pro nouzové zastavení stroje a jsou připojeny na bezpečnostní obvod. Průběh jízdy skipového vrátku ovládají dva šestivačkové spínače Cuttler-Hammer typ 93351 H 520, které jsou poháněny přes převodovou skříň napojenou na hřídel bubny. Pod oběma lanovými bubny je instalováno překlápěcí zařízení, které sepne při uvolnění lan spínač, který následně zastaví zařízení.



Obr. 20 – Vrátek



Obr. 21 – Skipový vozík



Obr. 22 – Vyklápění skipového vozíku

Strojovna vrátku je situována ve výšce + 22,540 m, odkud vedou ocelová lana pod úhlem 4° vzhůru na plošinu ve výšce + 61,300 m, kde jsou instalovány dva páry lanovnic. Jeden pár lanovnic (vlevo na obr. 23) vede lana ze strany skipu, druhý pár lanovnic (vpravo na obr. 23) vede lana ze strany vrátku. Lanovnice jsou konstruovány jako dvoukotoučové s dvěma drážkami pro lano. V případě nerovnoměrného protažení lan, na nichž je zavěšen přes kyvadlo skipový vozík, se oba kotouče lanovnice vzájemně pootočí. Nedochozí tedy k posunu lan v drážkách lanovnice a k jejich nadměrnému opotřebení. Skipový vozík je vždy zavěšen na dvou lanech, která se navíjejí na jeden buben vrátku, na němž jsou vysoustruženy drážky ve tvaru levého dvouchodého závitu.



Obr. 23 – Lanovnice skipového zavážení

Plnění skipových vozíků se provádí ve skipové jámě z levé nebo pravé násypky koksových nebo rudných zásobníků. Koks je do násypky dopravován z koksových zásobníků pásovým dopravníkem s dělicí klapou, která usměrňuje tok koksu do jedné nebo druhé násypky. Vážení koksu v těchto zásobnících se provádí pomocí tenzometrických vah. Aglomerát a ruda jsou dopravovány k vysoké peci vlakovými soupravami. Vážení

kovonosné vsázky se provádí na Aglomeraci během plnění přepravních nádob. Z vlakové soupravy jsou nádoby transportovány mostovým jeřábem nad rudnou násypku, kde jsou vyprázdněny (obr. 24).



Obr. 24 – Transport aglomerátu

5.2 Výpočet životnosti ocelového lana

Technické parametry potřebné pro výpočet životnosti ocelového lana jsou uvedeny v takzvaném atestu lana (obr. 25).

1. VÝROBCE: ZDB DRÁTOVNA A.S. JEREMENKOVA 66 735 51 Bohumín-Pudlov CZECH REPUBLIC

INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT 3.1

ČSN EN 10 204 – 3.1 / ČSN EN 12385-1,2

ČÍSLO: 69/13 DATUM: 01.03.2013 VÝROBNÍ ČÍSLO: 1590

IDENTIFIKAČNÍ ČÍSLO PŘEPRAVNÍHO BUBNU: 125 – 1269 SVITKU: 125 – 0672

OBJEDNÁVKA ČÍSLO: 023/4500593296/04.12.2012 KUPNÍ SMLOUVA ČÍSLO: 71.0109/A3

2. OBJEDNAVATEL: Třinecké železářny a.s., VYns – sklad TRM a surovin 739 70 Třinec – Staré Město

VÝROBEK - NORMA: EN 12385-4
- POPIS : Ocelové lano osmipramenné, 8 x K26WS – IWRC 1770/1570 U zZ
TECHNICKÉ DODACÍ PŘEDPISY: ČSN EN 12385-1,2 POUŽITÍ: Nespecifikováno v KS

3. LANO:
JMENOVITÝ PRŮMĚR: 33,0 [mm] POČET PRAMENŮ: 8
SKUTEČNÝ PRŮMĚR: 33,2 [mm] SMYSL A ZPŮSOB VINUTÍ: zZ
SKUTEČNÁ DÉLKA: 2 x (2 x 158) [m] DUŠE LANA:
JMENOVITÁ HMOTNOST: 4,82 [kg/m] MATERIÁL: IWRC
CELKOVÁ HMOTNOST: 2 x 1524 [kg] PRŮMĚR PŘED SRAŽENÍM: 16,86
VÝŠKA VINUTÍ: 219,0 [mm] POČET PRAMENŮ: 7

4. KONSTRUKCE PRAMENŮ LANA A HODNOTY VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

VRSTVA DRÁTŮ V PRAMENU LANA	POČET DRÁTŮ	JMEN. ROZMĚR DRÁTŮ [mm]	JMEN. PRŮŘEZ DRÁTŮ [mm²]	JMEN. PEVNOST V TAHU [N/mm²]	VINUTÍ DRÁTŮ SMYSL	VÝŠKA [mm]	SKUTEČNÉ HODNOTY NOSNÝCH DRÁTŮ – STŘEDNÍ HODNOTA (ROZPĚTÍ)			
							Rm [N/mm²]	No	Nk	Zn [gm²]
DUŠE	1	ø 0,87	0,59446	1770			2000-2000	21-21	45-45	-
1.	5	ø 1,20	1,1309	1570	P	70,6	1620-1660	25-26	36-39	-
2.	5	ø 1,40	1,5393	1770	P	70,6	1640-1760	20-21	39-40	-
2.	5	ø 1,10	0,95033	1770	P	70,6	1640-1720	25-26	41-42	-
3.	10	ø 2,05	3,3006	1570	P	70,6	1570-1630	20-23	32-34	-
DUŠE	1	ø 1,40	1,5393	1770			1760-1760	-	-	-
1.	6	ø 1,32	1,3684	1770	P	45,3	1730-1760	-	-	-
2.	6	ø 1,32	1,3684	1770	P	45,3	1720-1760	-	-	-
2.	6	ø 1,00	0,78533	1770	P	45,3	1850-1890	-	-	-
DUŠE	1	ø 1,55	1,8869	1770			1910-1910	-	-	-
1.	9	ø 0,75	0,44178	1770	L	43,3	1920-1990	-	-	-
2.	9	ø 1,32	1,3684	1770	L	43,3	1730-1760	-	-	-

SPOJENÍ DRÁTŮ: tvrdě spájeny

5. JMENOVITÝ NOSNÝ PRŮŘEZ LANA A : 545,36 [mm²]

6. ÚNOSNOST LANA - JMENOVITÁ $F_{e,c,min}$: 912,500 [kN] - VYPOČTENÁ $F_{e,m}$: 923,932 [kN]
- MINIMÁLNÍ F_{min} : 766,000 [kN] - SKUTEČNÁ $F_{m,c}$: 775,200 [kN]

7. SPECIFIKACE DRÁTŮ, KTERÉ NESPLŮJÍ POŽADAVKY NORMY: NEVYHOVUJÍCÍ
- PRŮMĚR : - , POČET DRÁTŮ : -
- PEVNOST : - , POČET DRÁTŮ : -
- POČET OHYBŮ : - , POČET DRÁTŮ : -
- POČET KRUTŮ : - , POČET DRÁTŮ : -
- JAKOST Zn : - , POČET DRÁTŮ : -

8. MAZÁNÍ LANA - DUŠE LANA : Elaskon SKU
- LANO : Intenzivně Elaskon SKU
DRUH MAZADEL A ZPŮSOB MAZÁNÍ VYHOVUJE PŘÍSLUŠNÝM BEZPEČNOSTNÍM PŘEDPISŮM.

9. ZVLÁŠTNÍ POZNÁMKY: Současné s Inspekčním certifikátem bylo vystaveno Prohlášení o shodě s objednávkou č. 71/13 ze dne 01.03.2013. Součástí dodávky je „Návod pro uživatele ocelových lan“ uvedený na druhé straně tohoto inspekčního certifikátu.

PROHLÁŠENÍ: Prohlašujeme, že ocelové lano vyhovuje jednotlivým ustanovením norem a předpisů výše citovaných a požadavkům uvedeným v kupní smlouvě!

UJIŠTĚNÍ: Ocelové drátěné lano je určeno jako příslušenství pro zdvihání v souladu se zákonem 22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Uvedený výrobek splňuje výše citovaný zákon a předpisy konkretizované v normách ČSN EN 12385-1+A1, -2+A1, -3+A1, -4+A1 a je za určeného a obvyklého způsobu použití bezpečný.

ZDB GROUP a.s., závod Lanárna je držitelem těchto certifikátů

TUV CERT EN ISO 9001:2009 certificate No. 04 100 038045
Germanischer Lloyd certificate No. GL 125
Lloyd's Register certificate No. MD0031000900111
DET NORSKE Veritas certificate No. AHS3-2009
TÜV SÜD certificate No. 3340501010

INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT (PODPIS A RAZÍTKO): LANARNA

Obr. 25 – Atest lana

Před návrhem způsobu mazání ocelových lan jsem musel zhodnotit, zdali se lana opotřebovávají předčasně, nebo dosáhnou očekávané životnosti. Výpočet životnosti ocelového lana je velmi složitá záležitost. Na lano během provozu působí mnoho činitelů, které nelze ve výpočtu zohlednit. Proto je nutné uvést, že výsledky výpočtu ocelových lan jsou zjednodušeny. Zvolil jsem způsob výpočtu životnosti ocelových lan v souladu s článkem prof. Jána Borošky - Vplyv zaťaženia na životnosť oceľových lán [4].

Výpočtem měrného zatížení ocelového lana získám charakteristickou veličinu, která mi umožní posoudit podmínky práce lana a jeho zatížení. Pro výpočet měrného zatížení je nutné vypočítat maximální zatížení ocelového lana a znát jeho nosný průřez. Pro výpočet zatížení ocelového lana jsem zvolil dvě místa s největším předpokládaným zatížením, a to místo u lanového bubnu, kde malý průměr bubnu způsobuje největší ohybové zatížení lana, a místo u lanovnice ze strany bubnu, kde je největší statické zatížení, které je způsobeno hmotností lana. Zatížení jsou počítána pro situaci, kdy se skipový vozík nachází v dolní části skipové dráhy a je naložen vsazkou.

5.2.1 Statické zatížení ocelového lana

Výpočet je proveden pro zatížení, které připadá na jedno ocelové lano. Do výpočtů zatížení ocelového lana jsou započítány hmotnosti ocelových lan (kromě hmotnosti lan mezi lanovnicemi, které jsou zanedbány), hmotnost vozíku a nejtěžší možné vsazky.

Celková hmotnost všech zatížení jednoho ocelového lana ze strany skipové dráhy

$$m_c = \frac{m_v + m_{vs} + m_{ls}}{2}$$

$$m_c = \frac{7000 + 13000 + 674,8}{2} = 10377,4 \text{ kg}$$

kde:

m_v [kg] – hmotnost skipového vozíku

m_{vs} [kg] – hmotnost rudné vsazky

m_{ls} [kg] – hmotnost 2 lan mezi vozíkem a lanovnicí ze strany skipové dráhy

Hmotnost 2 lan mezi vozíkem a lanovnicí ze strany skipové dráhy je vypočítána změřením délky lana, vynásobením změřené délky jmenovitou hmotností lana a počtem lan (obr. 25). Délka lana byla změřena pomocí dálkoměru Leica Geostystems Disto-D210.

Statické zatížení u lanového bubnu

$$F_{Stb} = m_c \times g \times \sin \alpha - m_l \times g \times \sin \beta$$

$$F_{Stb} = 10377,4 \times 9,81 \times 0,85 - 193 \times 9,81 \times 0,07 = 86399 \text{ N}$$

kde:

m_c [kg] – celková hmotnost všech zatížení jednoho ocelového lana ze strany skipové dráhy

Statické zatížení u lanovnice

$$F_{Stl} = m_c \times g \times \sin \alpha + m_l \times g \times \sin \beta$$

$$F_{Stl} = 10377,4 \times 9,81 \times 0,85 + 200 \times 9,81 \times 0,07 = 86665 \text{ N}$$

kde:

F_{Stb} [N] – statické zatížení ocelového lana u bubnu

F_{Stl} [N] – statické zatížení ocelového lana u lanovnice

g [m.s^{-2}] – gravitační zrychlení

m_c [kg] – celková hmotnost všech zatížení jednoho ocelového lana ze strany skipové dráhy

m_l [kg] – hmotnost lana mezi bubnem a lanovnicí

Hmotnost lana mezi bubnem a lanovnicí byla vypočítána změřením délky lana a vynásobením změřené délky jmenovitou hmotností lana (obr. 25). Délka lana byla změřena pomocí dálkoměru Leica Geostystems Disto-D210.

α [°] – úhel naklonění skipové dráhy

β [°] – úhel naklonění ocelového lana mezi bubnem a lanovnicí

5.2.2 Dynamické zatížení ocelového lana

Velikost dynamických sil je závislá především na hmotnosti břemene, velikosti zrychlení, velikosti tření, které vzniká na třecích plochách ložisek, čepů, kolejí

a v poslední řadě na velikosti podélného a příčného kmitání ocelového lana. Hodnoty činitelů (kromě hmotnosti a zrychlení) mající vliv na velikost dynamického zatížení ocelového lana jsou ve vzorci v souladu s [4] nahrazeny koeficientem 1,5.

Dynamické zatížení u lanového bubnu

$$F_{dynb} = (m_c - m_l) \times a \times 1,5$$

$$F_{dynb} = (10377,4 - 193) \times 0,35 \times 1,5 = 5347 \text{ N}$$

Dynamické zatížení u lanovnice

$$F_{dynl} = (m_c + m_l) \times a \times 1,5$$

$$F_{dynl} = (10377,4 + 193) \times 0,35 \times 1,5 = 5549 \text{ N}$$

kde:

$a \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ – provozní zrychlení při rozjezdu skipového vozíku

$g \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$ – gravitační zrychlení

$m_c \text{ [kg]}$ – celková hmotnost všech zatížení ocelového lana ze strany skipové dráhy

$m_l \text{ [kg]}$ – hmotnost lana mezi bubnem a lanovnicí

$\alpha \text{ [}^\circ\text{]}$ – úhel naklonění skipové dráhy

5.2.3 Ohybové zatížení

Pro výpočet ohybového zatížení jsem zvolil v souladu s [4] vztah, který vyplývá z poznatku, že velikost ohybové síly závisí na průměru vnějších drátů lana, modulu pružnosti lana a také na průměru lanovnice nebo bubnu, na kterém je lano ohýbáno.

Ohybové zatížení u lanového bubnu

$$F_{ohb} = \frac{E \times \delta_{pd} \times S_{kov}}{D_b} = \frac{100000000000 \times 0,00205 \times 0,0005454}{2} = 55904 \text{ N}$$

Ohybové zatížení u lanovnice

$$F_{ohl} = \frac{E \times \delta_{pd} \times S_{kov}}{D_l} = \frac{100000000000 \times 0,00205 \times 0,0005454}{2,5} = 44723 \text{ N}$$

kde:

E [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$] – modul pružnosti ocelového lana

Modul pružnosti v tahu neboli Youngův modul pro lana je značně problematické zjistit. Přesná hodnota by se musela určit experimentálně. Volím 100 000 MPa dle [1].

D_b [m] – průměr bubnu

D_l [m] – průměr lanovnice

S_{kov} [m^2] – kovový průřez ocelového lana

δ_{pd} [m] – průměr povrchových drátů ocelového lana

5.2.4 Měrné zatížení ocelového lana

Měrné zatížení ocelového lana je pro lana charakteristická veličina. Umožňuje posoudit podmínky práce lana a jeho zatížení. Měrné zatížení je definováno jako poměr mezi maximálním zatížením a jeho nosným průřezem.

Měrné zatížení ocelového lana u lanového bubnu

$$F_{\text{maxb}} = F_{\text{stb}} + F_{\text{dynb}} + F_{\text{ohb}} = 86399 + 5347 + 55904 = 147650 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{mb}} = \frac{F_{\text{maxb}}}{S} = \frac{147650}{0,0005454} = 271 \text{ MPa}$$

Měrné zatížení ocelového lana u lanovnice

$$F_{\text{maxl}} = F_{\text{stl}} + F_{\text{dynl}} + F_{\text{ohl}} = 86665 + 5549 + 44723 = 136937 \text{ N}$$

$$\sigma_{\text{ml}} = \frac{F_{\text{maxl}}}{S} = \frac{136937}{0,0005454} = 251 \text{ MPa}$$

kde:

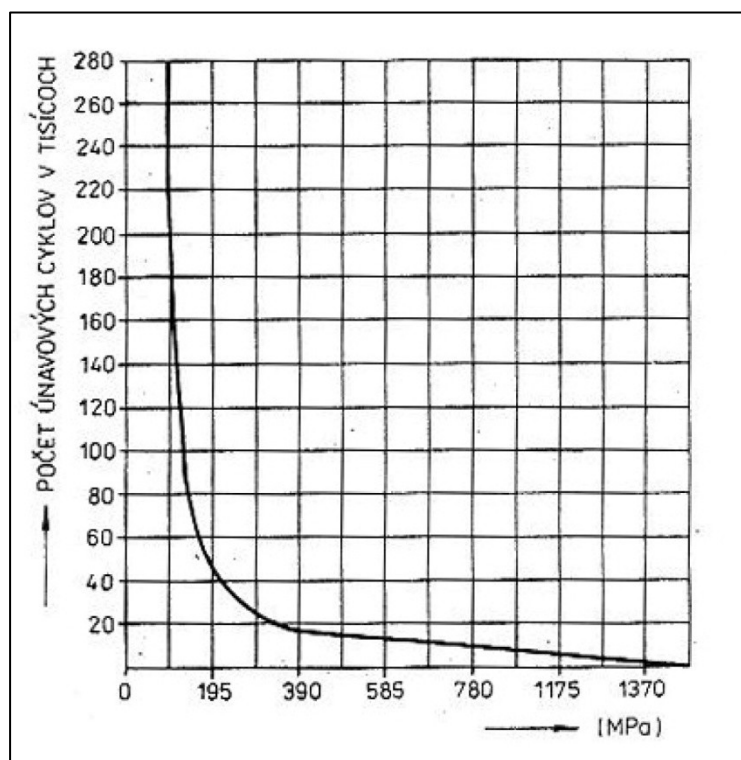
F_{maxb} [N] – maximální celkové zatížení ocelového lana u bubnu

$F_{\max l}$ [N] – maximální celkové zatížení ocelového lana u lanovnice

S [m²] – nosný průřez ocelového lana

σ_{mb} [MPa] – měrné zatížení ocelového lana u bubnu

σ_{ml} [MPa] – měrné zatížení ocelového lana u lanovnice

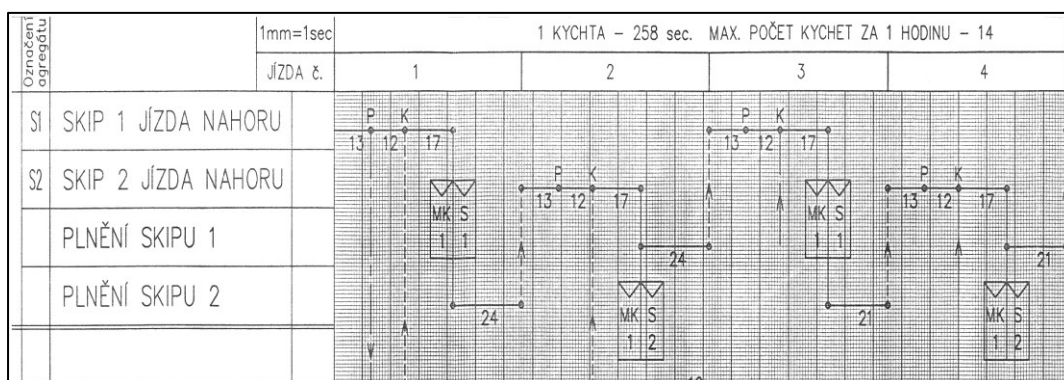


Obr. 26 – Křivka měrného zatížení ocelového lana

Na obrázku č. 26 je znázorněn průběh závislosti měrného zatížení ocelového lana na počtu únavových cyklů, které představují životnost ocelového lana. Z obrázku je vidět, že ke zvýšenému poklesu počtu únavových cyklů dochází v oblasti měrného zatížení ocelového lana 200 MPa. Hodnota 200 MPa se považuje za hranici, při jejímž přiblížení nebo překročení můžeme očekávat sníženou životnost ocelového lana. Velikost vypočítaných hodnot je ovlivněna zejména modulem pružnosti ocelového lana, který nelze přesně vyhledat. Vypočítané hodnoty nám predikují sníženou životnost ocelového lana. Vypočítané hodnoty odpovídají přibližně 30 000 únavových cyklů s největším možným zatížením vrátku. V praxi lano vydrží mnohem déle. Výpočet slouží jako ukazatel extrémního namáhání ocelových lan v provozu vysoké pece. Tento fakt je nutné zohlednit při údržbě.

5.2.5 Počet pracovních cyklů zavážení za rok

Pracovním cyklem rozumíme dobu, kdy dané břemeno, v tomto případě skipový vozík s materiálem, se přepraví z jednoho místa na druhé. Při výpočtu pracovních cyklů skipového zavážení je počítáno s maximálními hodnotami, které mohou při současném výkonu vysoké pece nastat. Jsou zanedbány odstávky a opravy zařízení. Z časového diagramu vyplynul čas k zavezení jedné kychty minimálně 258 s. (obr. 27). Vezmu-li v úvahu tento minimální čas, pak je zavážení schopno zavézt maximálně 14 kychet za hodinu. Pro splnění plánu výroby 3372 tun surového železa denně je zapotřebí dodržet rychlost zavážení 12 kychet za hodinu. Pro zavezení jedné kychty je potřeba čtyř skipových vozíků.



Obr. 27 – Časový diagram zavážení

Počet kychet za 24 hodin

$$K_{24} = k_1 \times 24 = 12 \times 24 = 288 \text{ kychet} / 24\text{h}$$

kde:

K_{24} [kychet / 24h] – počet kychet za 24 hodin

k_1 [kychet / h] – počet kychet za hodinu

Počet zavezených skipů za 24 hodin

$$S_{24} = K_{24} \times s_k = 288 \times 4 = 1152 \text{ skipů} / 24\text{h}$$

kde:

S_{24} [skipů / 24h] – počet zavezených skipů za 24 hodin

K_{24} [kychet / 24h] – počet kychet za 24 hodin

s_k [.] – počet skipů na zavezení jedné kychty

Počet zavezených skipů za rok jedním skipovým vozíkem

$$S_{365} = \frac{S_{24} \times 365}{2} = \frac{1152 \times 365}{2} = 210\,240 \text{ skipů / 365 dnů}$$

kde:

S_{365} [skipů / 365 dnů] – počet zavezených skipů za rok jedním skipovým vozíkem

S_{24} [skipů / 24h] – počet zavezených skipů za 24 hodin jedním skipovým vozíkem

Dle informací údržby vysoké pece dochází k výměně lana přibližně po 1,5 roce, což při splnění plánu výroby znamená pro ocelové lano 315 360 pracovních cyklů s kombinovaným zatížením. Zvolené orientační výpočty na životnost ocelového lana nepotvrdily, že je ocelové lano schopno tak dlouho v provozu vydržet a dle výpočtu bych očekával kratší životnost lana. Nicméně účelem této práce je prodloužit životnost ocelového lana. Po aplikaci správných zásad údržby je možné očekávat dosažení vyššího počtu pracovních cyklů před vyřazením lana.

5.3 Zhodnocení současného stavu

V této kapitole popíši a vyhodnotím stávající metody údržby, které nejsou v souladu se zásadami a moderními metodami údržby ocelových lan. Při prohlídce zařízení jsem kontroloval pouze strojní části, které mají přímý vliv na životnost ocelového lana.

5.3.1 Mazání ocelových lan

Ochrana výrobním mazadlem je dostatečná jen pro skladování a pro počáteční dobu užívání lana. Pro dosažení optimální funkčnosti a životnosti ocelového lana je nutné provádět domazávání lan mazadlem kompatibilním s mazadlem výrobce lana, kterým je napuštěna drátěná duše lana. V praxi to u sledovaného lana probíhá následovně. Po

výměně lana a zaběhnutí se provádí mazání periodicky přibližně jednou měsíčně, a to převodovým olejem PP 90, který je pro lana nevhodný. Primární určení oleje PP 90 je mazání převodovek. Aplikace převodového oleje probíhá pomocí tlakového zařízení a trysek, které jsou instalovány v horní části lanovnic (obr. 28, 29).



Obr. 28 – Trysky



Obr. 29 – Tlaková nádoba

Převodový olej je rozstříkáván po určitou dobu do drážek lana. Dochází k neregulovanému rozstříku maziva a mazání jen části lana. Při použití velkého množství oleje dochází k přilnutí cizích látek k povrchu lana a následnému obroušování lana, lanovnice a bubnu.



Obr. 30 – Znečištěná lanovnice

Zvolení jednoho mazacího místa je taktéž nedostatečné. Při údržbě je mazána jen část lana, která se pohybuje přes kladky v délce cca 70 m, zbylá část lana, která se navíjí na buben vrátku, není mazána, a tudíž nijak povrchově chráněna. Při zpracování bakalářské práce bylo lano v provozu přibližně rok. Na laně jsou již patrné velké známky poškození. V místech, kde není lano mazáno, již dochází k oxidaci povrchu ocelového lana (obr. 31). V místech, kde dochází ke kontaktu s lanovnicí, jsou povrchové dráty lana značně zbroušeny.



Obr. 31 – Oxidace povrchu ocelového lana

5.3.2 Lanovnice

Lanovnice a bubny se musí pravidelně kontrolovat. Během provozu dochází k opotřebení drážek. Provedl jsem vizuální kontrolu všech lanovnic a bubnu a již na první pohled bylo zřejmé, že u lanovnic a bubnu dochází ke značnému opotřebení drážky (obr. 32). Ocelová lana si vypracovala provozem drážku a zadírají se postupně hlouběji do materiálu. Tato skutečnost má hodně negativních vlivů jak na životnost lana, tak na pevnost samotné lanovnice. Po instalaci nového lana na takto opotřeбенé lanovnice dochází k rychlému zbroušení povrchových drátů lana, a tím ke zkrácení jeho životnosti. Dalším místem, kde dochází ke zbytečnému opotřebování lana, je na střeše strojovny. V plášti střechy jsou vyřezány otvory, kterými vedou lana nahoru k lanovnicím. Při pohybu lana dochází k jeho rozkmitání a lano často naráží do hladkého plechu, kterým je otvor olemován.

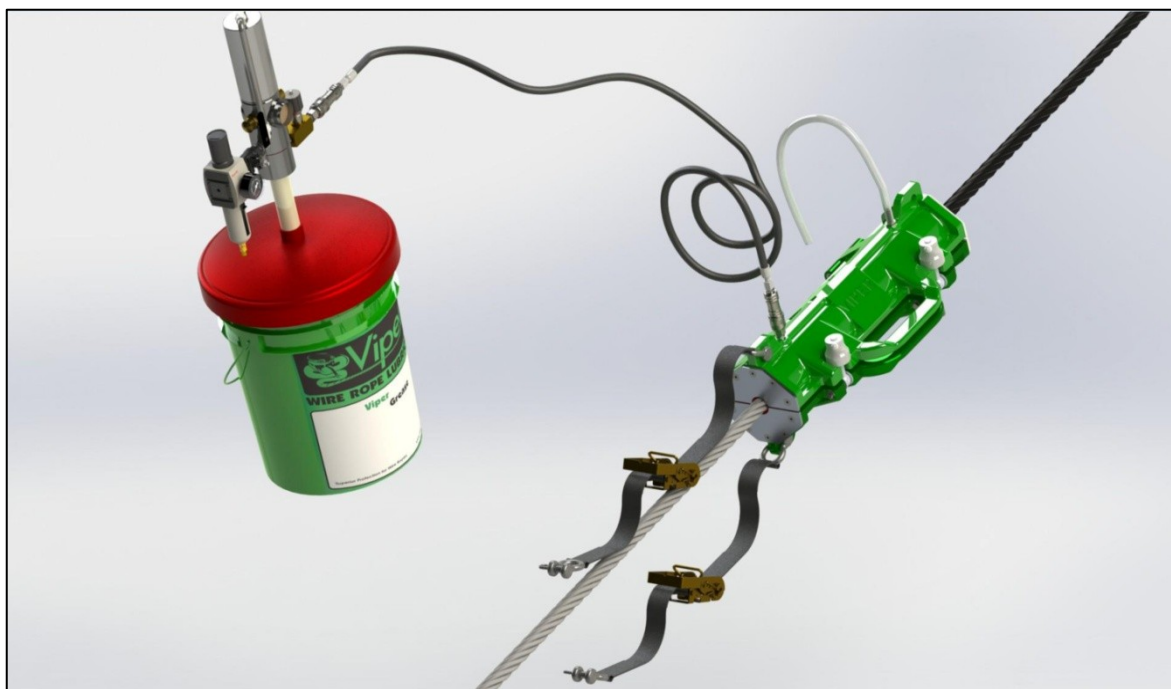


Obr. 32 – Opotřeбенé drážky lanovnice

6. Návrh opatření k zvýšení životnosti ocelového lana

V předcházející kapitole jsem vyjmenoval a popsal opomenuté metody údržby ocelových lan. V této kapitole navrhnu opatření, které prodlouží životnost ocelového lana.

Překážkou při údržbě lan během provozu skipového zavážení je vytíženost provozu vysoké pece. Údržba vysoké pece je koncipována do 8 hodinových odstávek přibližně 2 krát za měsíc a 14-denní opravy 1 krát ročně. Proto jsem při hledání řešení měl na paměti nutnost rychlosti oprav a údržby. Co se týče mazání lana, našel jsem přístroj, který se v poslední době začal používat na domazávání lan po celém světě. Jedná se o zařízení Viper Kit 2 (obr. 33), jehož největšími výhodami jsou rychlost čištění lana a rychlost aplikace mazadla. Po konzultacích se zástupci firmy Nacházel s.r.o. jsem došel k závěru, že přístroj je schopen aplikovat mazadlo Elaskon SKU, které je primárně určeno výrobcem lana. Pro aplikaci mazadla po celé délce lana je nutné použít dvě mazací místa, a to ve strojovně vrátku a poblíž lanovnice ze strany skipového vrátku. Na zbylé plochy se aplikuje mazadlo ručně. Celý proces mazání je rychlý a měl by proběhnout během běžných 8 hodinových oprav.



Obr. 33 – Viper Kit 2

Dalším závažným problémem je technický stav lanovnic. Oprava lanovnic je poměrně zdoluhavá záležitost. Nevím, zdali je finančně výhodnější renovovat stávající lanovnice, nebo vyrobit zcela nové. Navrhuji zvážit možnost vyrobit zcela nové lanovnice a ty pravidelně renovovat vždy během 14-denních oprav.

Co se týče otvoru ve střeše strojovny a otírání lana o lem otvoru, je nutné omezit tření na minimum. Zvětšením otvoru by došlo ke zvýšenému zatékání vody do strojovny, a proto navrhuji instalovat v blízkosti otvoru vodící válce.

7. Závěr

Bakalářská práce je rozdělena na dvě samostatné, ale úzce související části. Jsou to rešeršní část a experimentální část.

Rešeršní část práce vytváří ucelený soubor poznatků z oblastí konstrukce ocelových lan, základních materiálů k výrobě ocelových lan a technických rizik, která vznikají při použití ocelových lan v provozu. Nastudování teoretických znalostí bylo výchozím krokem ke splnění cíle této bakalářské práce.

V experimentální části práce jsem provedl výpočet měrného zatížení ocelového lana. Výpočtem měrného zatížení jsem získal charakteristickou veličinu, která mi umožnila orientačně stanovit životnost ocelového lana v provozu. Výpočet jsem provedl pro dvě místa na zařízení, z nichž se jako kritické ukázalo místo u lanového bubnu.

Výsledek výpočtu poukázal na skutečnost, že lana jsou extrémně namáhána a jejich výpočtem predikovaná životnost je v praxi mnohonásobně překračována. Z tohoto důvodu je nutné věnovat zvýšenou pozornost optimalizaci údržby ocelových lan.

V rámci bakalářské práce jsem provedl kontrolu strojního zařízení, které má vliv na životnost ocelového lana, popsal jsem stávající metody údržby, které nejsou v souladu se zásadami a moderními metodami údržby ocelových lan a následně jsem navrhl opatření optimalizující údržbu ocelových lan v provozu. Po zavedení všech těchto opatření dojde ke zvýšení životnosti lana. Tuto skutečnost však nelze přesně vyčíslit. V odborné literatuře se uvádí, že dodržením správných zásad údržby lan se jeho životnost prodlouží v některých případech až o 80 %.

Literatura

- [1] BOROŠKA, Ján, Jozef HULÍN a Oldřich LESŇÁK. *Ocel'ové laná*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1982, 479 s., [2] složené l. obr. příl.
- [2] SOJKA, L. *Údržba ocelových lan*. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Alfa, 1982.
- [3] BOROŠKA, Ján *Vývojové tendencie výroby a použitia ocel'ových lan*. Acta Montanistica Slovaca, 2006, roč. 11, č. 1. Dostupné z: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2006/n1/6boroska.pdf>
- [4] BOROŠKA, Ján *Vplyv zaťaženia na životnosť ocel'ových lan*. s. 96-100.
- [5] Brooklynsky most. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=Brooklynsk%C3%BD+most.&title=Special%3ASearch&fulltext=1>
- [6] Works of the 5th dynasty of Egypt. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Special%3ASearch&profile=default&search=egypt+malby&fulltext=Search&uselang=cs>
- [7] Millennium Dome v Greenwich. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=Millennium+Dome+v+Greenwich.&title=Special%3ASearch&go=J%C3%ADt+na&uselang=cs>
- [8] ČSN EN 12385-2. *Ocelová drátěná lana - Bezpečnost: Část 2: Definice, označování a klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [9] HAMERNÍK, Jan. *Koroze a ochrana před korozí*. [online]. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: jhamernik.sweb.cz
- [10] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001, 155 s. ISBN 80-7078-883-6.
- [11] ŠAFR, Emil. *Tribotechnika*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984, 297 s. ISBN 04-243-84.

[12] RED. NAUKOWA MARIAN SZCZEREK, Red.Marek Wiśniewski. *Tribologia i tribotechnika*. Radom: Polskie Towarzystwo Tribologiczne [u.a.], 2000. ISBN 837204199

[13] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Miloš Vlk. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.